

PEMODELAN TAK-LINEAR DAN SISTEM PENGATURAN ADAPTIF UNTUK SISTEM HIDROLIK

by Nur Alif Mardiyah

Submission date: 31-Jan-2020 11:26AM (UTC+0700)

Submission ID: 1249136799

File name: Bu_Alif_1.pdf (605.24K)

Word count: 3254

Character count: 19841

PEMODELAN TAK-LINIER DAN SISTEM PENGATURAN ADAPTIF UNTUK SISTEM HIDROLIK

2 M. Mulyadi Jayanegara, Zulfatman, Nur Alif Mardiyah

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas teknik, Universitas Muhammadiyah Malang

Kontak Person:

M.Mulyadi Jayanegara

Jl. Raya Tlogomas No. 246, Malang, Telp/Fax Institusi/Afiliasi

E-mail: mulyadi.jn@gmail.com

Abstrak

Elektro-hidrolik merupakan jenis aktuator yang kompleks dengan ketaklinieran yang tinggi dan mengandung unsur ketaktentuan di dalamnya. Oleh karena itu untuk mendapatkan performa terbaik dari sistem elektro-hidrolik diperlukan pemodelan yang lebih akurat dan sistem pengaturan yang tepat. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan pemodelan sistem secara tak-linier dan dilanjutkan dengan perancangan sistem pengaturan tak-linier yang robust untuk sistem elektro-hidrolik. Dalam studi ini pemodelan dilakukan dengan menggunakan System Identification Toolbox pada Matlab dari sepasang data input-output yang diambil dari sistem sebenarnya. Model sistem elektro-hidrolik ditampilkan dalam format tak-linier, dengan mengkomodasi ketaklinieran, ketaktentuan dan gangguan. Sistem Pengaturan menggunakan Sliding Mode Control (SMC) yang dikombinasikan dengan pengaturan fuzzy dalam format Adaptif Sliding Mode Control (ASMC) untuk mengkompensasi perubahan parameter, ketaklinieran, ketaktentuan dan gangguan pada pengaturan SMC. Stabilitas sistem pengaturan dijamin dengan fungsi Lyapunov. Proses pemodelan menunjukkan bahwa model yang dihasilkan sudah valid dengan nilai best-fit sebesar 94.65% dan kedudukan pole-zero sistem pada Bode Plot menunjukkan bahwa sistem dalam keadaan stabil. Sementara itu, penggunaan logika fuzzy dalam penentuan parameter sliding surface pada ASMC dapat menghasilkan performa respon lebih baik dibandingkan dengan SMC konvensional, dengan RMSE sebesar 0.1099 berbanding 0.1491.

Kata kunci: adaptif sliding mode control, elektro-hidrolik, pemodelan tak-linier, sliding surface, identifikasi sistem.

1. Pendahuluan

Elektro-hidrolik adalah salah satu komponen penting yang banyak ditemukan pada dunia industri. Elektro-hidrolik banyak digunakan karena memiliki tenaga yang besar, presisi yang tinggi dan jarak pergerakan yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Dalam era modern sistem elektro-hidrolik mempunyai peranan yang sangat penting dalam sebuah industri seperti digunakan dalam pengereman pesawat terbang, eskavator, dan alat militer. Untuk mendapatkan semua keunggulan tersebut, diperlukan suatu sistem pengaturan yang mempunyai algoritma pengaturan tersendiri untuk mengatur valve dalam sistem elektro-hidrolik [1]. Di dalam era modern ini berbagai macam jenis sistem pengaturan untuk sistem hidrolik telah dikembangkan, seiring dengan kebutuhan akan aktuator yang terus berkembang di dunia industri.

Untuk merancang sistem pengaturan yang tepat, harus diawali dengan pemodelan dari sistem elektro-hidrolik, salah satunya adalah melalui metode identifikasi sistem. Pemodelan ini menggunakan data input dan data respon output menggunakan parameter secara matematis. Model sistem yang tepat harus menghasilkan respon output yang mirip dengan sistem yang sebenarnya [1]. Teknik yang tepat dalam hal penentuan pemodelan dari sebuah sistem yang model dan parameternya tidak diketahui disebut identifikasi sistem [2].

Pada saat ini berbagai macam teknik identifikasi sistem diterapkan untuk mengestimasi model dari aktuator elektro-hidrolik, baik dalam bentuk linier maupun tak-linier. Jenis Pemodelan linier misalnya Auto Regressive (AR), Auto Regressive Exogenous (ARX), Auto Regressive Moving Average with Exogenous Inputs (ARMAX), Output-error (OE) dan Box-Jenkin (BJ). Sedangkan beberapa teknik pemodelan tak-linier yang digunakan diantaranya nonlinear ARX (NARX) dan nonlinear ARMAX (NARMAX) [3]. ARX merupakan model yang paling banyak digunakan dalam proses pemodelan sistem elektro hidrolik, karena model ini dapat menghasilkan persentase ketepatan pemodelan (best-fit) yang lebih tinggi. Menurut aturan praktis, sebuah model dapat diterima ketika nilai best-fit yang didapatkan lebih tinggi dari 90% [3].

Akan tetapi sistem dinamis seperti sistem elektro-hidrolik sangat sulit untuk dimodelkan secara sempurna mendekati sistem yang sebenarnya karena adanya proses linierisasi dalam proses pemodelan. Selain itu, sistem yang sebenarnya pada umumnya mempunyai beberapa gangguan

eksternal selama pengoperasian [4]. Akibatnya sistem pengaturan yang dirancang menggunakan model linier memiliki kelemahan yaitu tidak disertakannya ketaklinieran, ketaktentuan dan perubahan parameter dalam proses penentuan parameter sistem pengaturan [5]. Hal ini menyebabkan sistem tidak bisa menyesuaikan diri dengan kondisi yang berubah ubah.

Untuk mengatasi masalah diatas diusulkan desain pemodelan elektro-hidrolik dengan menambahkan ketaklinieran, ketaktentuan dan gangguan luar dari sistem. Model tak-linier seperti metode pengaturan berbasis Lyapunov banyak digunakan [6], dengan keunggulan utama adalah kurangnya pembatasan dalam memanipulasi sistem tak-linier [7]. Untuk model tak-linier pilihan sistem pengaturan yang baik adalah dengan sistem pengaturan tak-linier, dalam pengaturan tak-linier, sistem pengaturan yang paling banyak digunakan adalah sistem pengaturan *robust* [8]. Salah satu pengaturan *robust* adalah pengaturan SMC, SMC merupakan pengaturan yang *robust* karena tidak peka terhadap gangguan dan memiliki lintasan yang memaksa sistem tetap berjalan pada lintasan tersebut.

Untuk hasil yang lebih maksimal, pengaturan dikombinasikan dengan sifat pengaturan adaptif [9], dimana pengaturan ini dapat melakukan penyesuaian parameter untuk menyesuaikan diri terhadap keadaan baru yang tidak diketahui. Pengaturan adaptif yang digunakan dengan memanfaatkan teori logika Fuzzy [10] untuk menentukan nilai parameter dari *sliding surface*, pengaturan adaptif ini digunakan untuk memperbaiki penetapan nilai parameter *sliding surface* yang menggunakan metode *tracking error* dan *dependent*. Sehingga didapatkan akurasi dan kelinieran yang lebih baik.

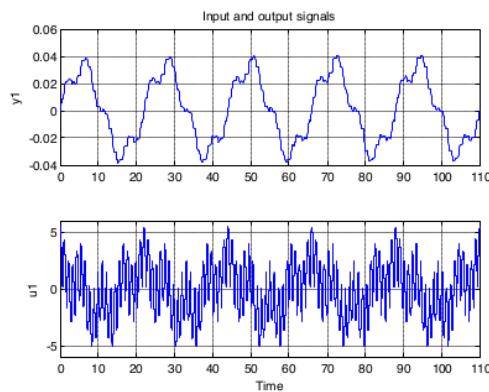
2. Metode Penelitian

2.1. Pemodelan Sistem Elektro-Hidrolik

Pemodelan sistem elektro-hidrolik merupakan bagian utama dari sistem ini karena model tersebut yang nantinya akan dipengaturan menggunakan pengaturan SMC. Adapun langkah langkah yang dilakukan dalam pemodelan adalah :

2.3.1. Pengambilan Data

Dalam penelitian ini data *inputoutput* diambil dari penelitian sebelumnya. Banyaknya data yang diambil adalah 2001 dengan waktu sampling 55 ms, dilakukan penelitian dengan memberikan *input* dari *command window* MATLAB berupa sinyal sinusoidal dengan multi frekuensi dengan pembacaan *output* hidrolik secara *realtime* menggunakan bantuan DAQ di labolatorium hidrolik. Data *input output* ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1 Data input output

2.3.2. Penelitian Data

Penelitian data dilakukan dengan melakukan pengamatan terhadap tipe dan karakteristik dari data. Dari penelitian data *inputoutput* dalam Gambar 1, dapat dianalisa bahwa data ini merupakan data dengan tipe *time-variance* karena memiliki domai waktu dalam data tersebut. Sedangkan karakteristik data berupa sinyal *sinusoidal multi frekuensi*.

2.3.3. Pemilihan Struktur Pemodelan

Jenis struktur pemodelan yang dipakai dalam penelitian ini menggunakan pemodelan ARX 331. Pemilihan struktur pemodelan ini berdasarkan nilai ketepatan (*best-fit*) terbaik dari pengamatan [1]. Best-fit menentukan nilai ketepatan pemodelan terhadap sistem yang sebenarnya.

2.3.4. Estimasi dan Validasi

Dari hasil Estimasi menggunakan menggunakan pemodelan ARX 331, menghasilkan nilai ketepatan mencapai 94.65% dimana hal ini dibuktikan dari kurva validasi. Nilai ketepatan atau *best fit* tersebut diperoleh dari perbandingan antara data validasi *output* dan respon *output* dari pemodelan dengan menggunakan Persamaan 1.

(1)

Dari sistem identifikasi diperoleh pemodelan dalam bentuk diskrit polinomial ARX 331 [5] dan didapatkan Persamaan 2,3 dan 4. Langkah selanjutnya data dalam Persamaan 2 diubah dalam bentuk *transfer function* diskrit menggunakan Persamaan 5. Setelah didapatkan hasil *transfer function* diskrit kemudian data diubah kedalam bentuk *state-space* kontinyu.

$$A(z)y(t) = B(z)u(t) + e(t) \quad (2)$$

$$A(z) = 1 - 1.964z^{-1} + 1.258z^{-2} - 0.293 \quad (3)$$

$$B(z) = 0.0003821z^{-1} - 0.0004912z^{-2} + 0.0002178z^{-3} \quad (4)$$

$$H_{arx} = \frac{B(z)}{A(z)} \quad (5)$$

2.3.5. Model Dinamis dari Sistem Hidrolik Dengan Parameter yang Tidak Diketahui

Permodelan matematis dari sebuah sistem hidrolik dinamis tak-linier dapat dimodelkan dengan menggunakan Persamaan 6. Atau Persamaan 6 dapat disederhanakan dengan menggabungkan sehingga didapatkan Persamaan 7.

$$\dot{x} = (A_0 + \Delta A)x + B_0 u + d \quad (6)$$

$$\dot{x} = A_0(x) + B_0 u + d \quad (7)$$

$$y = Cx$$

Dengan menggunakan *canonical form state space* dari sistem *single input single output* (SISO) berlaku Persamaan 8[5]. Sehingga dari Persamaan 2 dan Persamaan 5 dalam bentuk *single input single output* didapatkan Persamaan 12. Dengan mensubstitusikan Persamaan 9 kedalam Persamaan 7 sehingga didapatkan persamaan 10.

$$A_0 = \begin{bmatrix} -a_2 & -a_1 & -a_0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, B_0 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}, Cx = [b_2 \quad b_1 \quad b_0]x \quad (8)$$

$$G(s) = \frac{b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} \quad (9)$$

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} -a_2 & -a_1 & -a_0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} [u + d] \quad (10)$$

2.2. Perancangan Pengaturan Proportional Integral Derivative (PID)

Desain pengaturan PID dilakukan untuk penelitian pendahuluan mengenai perubahan respon sistem setelah diberikan sebuah pengaturan konvensional PID. Adapun untuk setting pengaturan PID menggunakan metode *tuning* menggunakan MATLAB untuk menentukan nilai yang optimal dari parameter K_p , K_i and K_d . Nilai ketiga parameter PID ini ditetapkan $K_p=4$, $K_i=0.2383$ dan $K_d=0.0380$.

2.3. Perancangan Pengaturan ASMC

Perancangan pengaturan ASMC (*Adaptive Sliding Mode Control*), pada perancangan ini merupakan penambahan pengaturan Fuzzy dan penggunaan teori adaptif *switching gain* untuk menentukan nilai dari parameter λ_1 dan λ_2 berdasarkan perubahan *error* sedangkan adaptif *switching gain* digunakan untuk menentukan nilai *gain* "Q". Dalam perancangan pengaturan ASMC umumnya terdapat tiga langkah yaitu :

2.3.1. Perancangan Pengaturan SMC

Perancangan pengaturan SMC dilakukan dengan penentuan nilai dari beberapa parameter dengan tahapan sesuai dengan :

Menentukan *Tracking Error*

Langkah kedua dalam perancangan sistem pengaturan SMC adalah menentukan *error* dari sistem sesuai dengan Persamaan 11. Sehingga dapat ditetapkan nilai e sesuai dengan Persamaan 12, 13 dan 14.

$$e = [e_1 \quad e_2 \quad e_3]^T, \quad e = x - x_d \quad (11)$$

$$e_1 = x_1 - x_{1d} \quad (12)$$

$$e_2 = x_2 - x_{2d} = \dot{x}_1 - \dot{x}_{1d} \quad (13)$$

$$e_3 = x_3 - x_{3d} = \ddot{x}_1 - \ddot{x}_{1d} \quad (14)$$

Menentukan *Sliding Surface*

Langkah ke tiga dalam perancangan adalah menentukan *sliding surface* orde 3 *sliding surface* dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 15. Nilai dari λ ditentukan menggunakan fungsi dependent yaitu dengan menggabungkan antara λ menggunakan metode *try and error* dan ditetapkan nilai dari λ .

$$S(e, t) = \left(\frac{d}{dt} + \lambda \right)^2 e_1, \quad S = \lambda^2 e + 2\lambda \dot{e} + \ddot{e} \quad (15)$$

Reaching Law

Langkah ke empat adalah menentukan Reaching Law agar *reaching time* dan *chattering* dari sistem dapat berkurang. Reaching Law juga digunakan dalam proses penentuan Control Law Persamaan dinamis tentang reaching law sesuai dengan Persamaan 16. Nilai dari Q dan K ditentukan menggunakan metode *try and error* dan ditetapkan nilai dari Q sebesar 200 dan K sebesar 1750. Nilai dari Q digunakan untuk mereduksi *chattering* dan nilai dari K digunakan untuk memperkecil *reaching time* [6].

$$\dot{S} = -Q \operatorname{sgn}(S) - KS \quad (16)$$

Menentukan Control Law SMC

Langkah terakhir dalam perancangan adalah penentuan *Control law*. *Control law* digunakan dalam menentukan sinyal masukan sistem hidrolik yang berasal dari *output* SMC sesuai dengan persamaan 17. Untuk mereduksi nilai dari *chattering* digunakan teknik *boundary layer* dengan menggunakan Persamaan 18. Nilai ϕ ditetapkan menggunakan metode *try and error* dan ditetapkan sebesar 100.

$$u = B(x)^{-1}(-q - A(x) - \dot{d}(t) - Q \operatorname{sgn}(S) - KS) \quad (17)$$

$$u = B(x)^{-1}(-q - A(x) - \dot{d}(t) - Q \tanh(S/\phi) - KS) \quad (18)$$

2.3.2. Perancangan Adaptif Switching Gain

Adaptif *switching gain* dirancang untuk meningkatkan performa dari sistem pengaturan [9]. Peningkatan ini dilakukan dengan cara merubah penetapan nilai dari variabel *gain* "Q" yang awalnya ditetapkan dengan metode "try and error" menjadi metode adaptif. Penetapan nilai berdasarkan pada teorema *Lyapunov* dalam Persamaan 19, sehingga didapatkan persamaan untuk menentukan nilai *switching gain* sesuai dalam Persamaan 20.

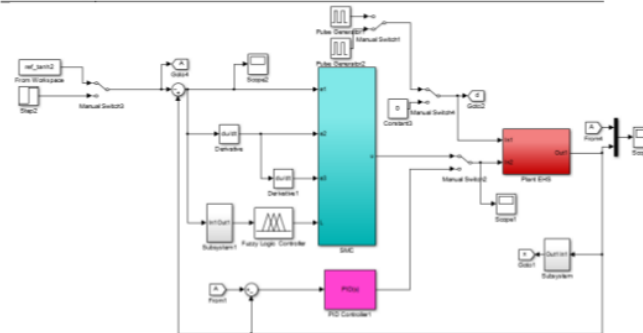
$$V = \frac{1}{2} S^2 \quad (19)$$

$$Q \geq \beta(E + \eta + D) + (\beta - 1)|q + A(x)| \quad (20)$$

diasumsikan bahwa nilai dari koefisien dalam persamaan 15 dapat berfluktuasi sebesar 20 % dari nilai nominalnya, batas-batas ketidakpastian dan *error* estimasi ditentukan dengan Tabel 1 [7]. Hasil dari perancangan yang telah dilakukan didapatkan blok Simulink dari pengaturan ASMC sesuai dengan Gambar 2.

Tabel 1 Parameter Adaptif Switching Gain

Parameter Adaptif Switching Gain	
β	$\sqrt{B_{max}/B_{min}} = \sqrt{(\hat{B}.1.2)/(\hat{B}.0.8)}$
E	$ A(x) - \hat{A}(x) = 0.2 \hat{A}(x) $
η	4200

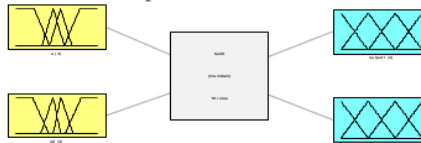


Gambar 2 Blok simulink pengaturan AFSMC pada sistim elektro-hidrolik

2.3.3. Perancangan Pengaturan Fuzzy

Nilai dari yang sebelumnya ditentukan menggunakan fungsi *dependent* dan menggunakan metode *try and error* diubah menjadi fungsi *independent* dan ditetapkan menggunakan logika Fuzzy. Berdasar pada karakteristik dari aktuator elektro-hidrolik dan pengaturaner SMC metode Agregasi dan defuzzifikasi ditetapkan menggunakan *max-min* dan metode *centroid*.

Model Mamdani diterapkan sebagai struktur Fuzzy inferensi. *Input* dari struktur Fuzzy ini, terdapat dua masukan Fuzzy inferensi: *error* $e(t)$ dan turunan dari kesalahan $de(t)$, dan dua *output* untuk . Blok inferensi Fuzzy dari desain pengaturaner ditunjukkan dalam Gambar 3. Fungsi keanggotaan ditetapkan sesuai dalam persamaan 21 dan 22.



Gambar 3 Struktur keanggotaan Fuzzy

$$= [L1 \min, L1 \max] \text{ dan } [L2 \min, L2 \max] = L1 \in [600, 1000] \text{ dan } L2 \in [0, 1] \quad (21)$$

Karena memiliki 4 variabel sebagai masukan dan 4 variabel sebagai *output*, maka dalam desain terdapat 16 aturan Fuzzy yang ditetapkan dari Tabel 2.

Tabel 2 Rule Fuzzy inference

De/e	PB	PS	NS	NB
PB	SB	SB	B	B
PS	SB	B	K	K
NS	B	K	K	SK
NB	B	K	SK	SK

Tingkat variabel linguistik dari fungsi inferensi ditulis sebagai PB: Positif Big; PS: *Positif Small*; NS: *Negatif Big*; *Negatif Big*: sangat besar. Tingkat linguistik *output* dari fungsi keanggotaan *output* L1 dan L2 ini dibuat sebagai SK: sangat Kecil; K: kecil; B: besar; SB: sangat besar. Sehingga

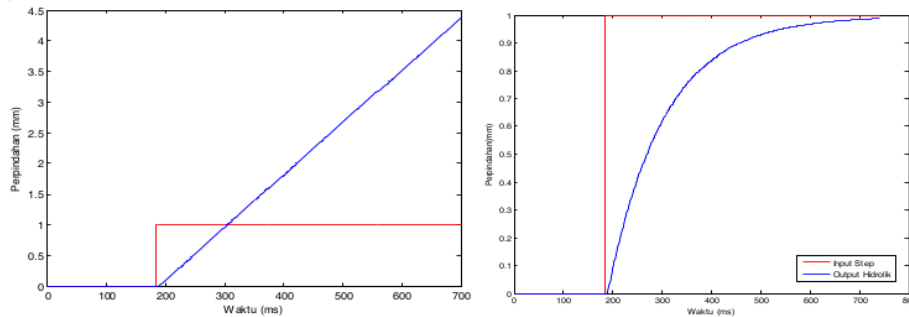
didapatkan perubahan persamaan *Sliding surface* dan nilai dari pengaturan *input* (u) karena pengaruh dari nilai Fuzzy. Persamaan *sliding surface* akan berubah sesuai dengan persamaan 30.

$$S_{fuz} = L1_{fuz}^2 e + 2.L2_{fuz} \dot{e} + \ddot{e} \quad (22)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengujian Model Hidrolik Menggunakan *Loop* Terbuka dan *Loop* Tertutup.

Persamaan hasil konversi ke *transfer function* *continyu* dan *state space* dimasukkan dalam blok simulink MATLAB sebagai model dari sistem hidrolik dengan *input* berupa sinyal *step* dengan *step time*=1, *initial value*=0, dan *Sample time*=1. Pengujian *open loop* menghasilkan grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 4.

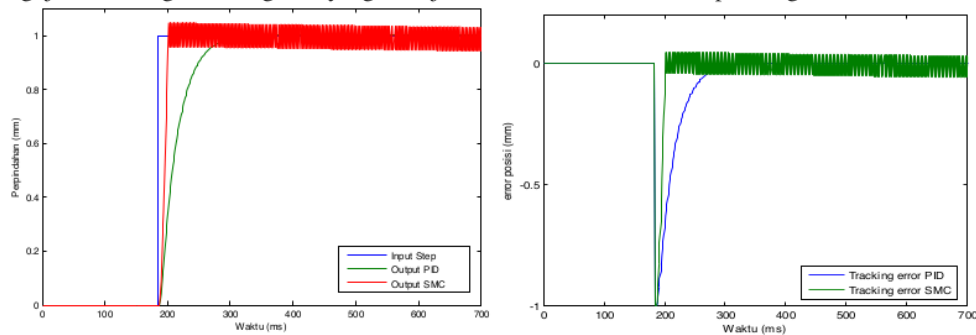


Gambar 4 Grafik respon transien loop terbuka dan loop tertutup

Dari grafik dalam Gambar 5 dapat dianalisa bahwa ketika menggunakan *loop* terbuka *output* dari sistem tidak sesuai dengan sinyal *input*, sehingga pemodelan menggunakan sistem *open loop* tidak sesuai untuk sistem pada penelitian ini. Sedangkan pengujian *close loop* menghasilkan grafik sesuai dengan sinyal *input*.

3.2. Hasil Pengujian Pengendali PID dan SMC

Pengujian ini menggunakan *time sampling* 55 miliseconds. Pertama-tama sinyal akan diuji menggunakan sinyal *step* dengan dan yang kedua diuji menggunakan sinyal *trajectory*. Masing2 juga akan diuji dengan diberikan gangguan berupa sinyal *pulse*. Penentuan besarnya gangguan ini didasarkan pada pemberian gangguan yang tidak boleh lebih dari 40% dari sinyal *input*. Dari pengujian ini menghasilkan grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 6 sampai dengan Gambar 5.



Gambar 5 Grafik respon transien dan tracking error pengaturan PID dan SMC tanpa gangguan

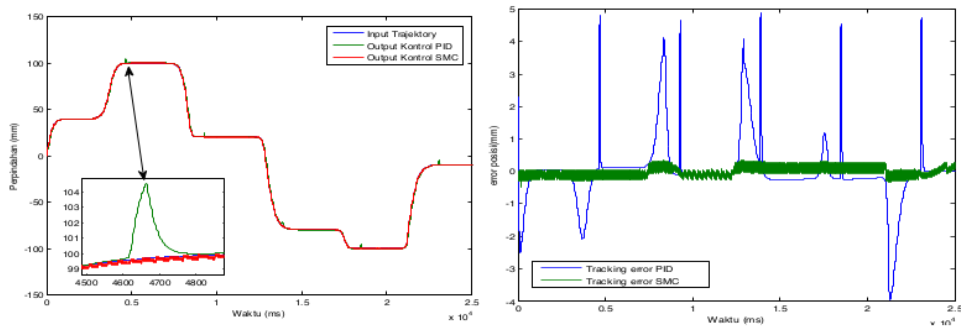
Selain grafik dalam Gambar 6, Dari pengujian ini didapatkan pula karakteristik dari respon transien pengaturan PID dengan menggunakan sinyal *step* ditunjukkan oleh Tabel 3. Dalam tabel ini berisi tentang karakteristik *rise time*, *overshoot*, *peak* dan *peaktime* dari sistem.

Tabel 3 Karakteristik respon transien pengaturan SMC

	SISTEM	PID	SMC
RiseTime	243.8540	58.6056	9.8574

Overshoot	0	0.0061	8.3831
Undershoot	0	0	0
Peak	0.9879	1.0023	1.0459
PeakTime	741	497	200

SMC memiliki *overshoot* sebesar 8.8574, dimana memiliki nilai lebih besar dari pada PID karena adanya fenomena *chattering*. Akan tetapi besarnya *overshoot* dan *settlingtime* ini masih bisa ditoleransi. Pengujian menggunakan *trajectory* menghasilkan grafik dalam Gambar 6.



Gambar 6 Grafik trajectory dan tracking error pengaturan PID dan SMC dengan gangguan

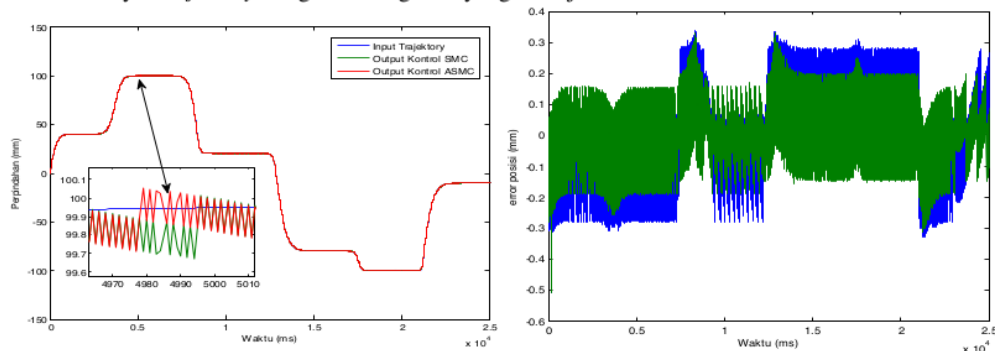
Data *tracking error* digunakan untuk menentukan nilai RMSE dari sistem [8] dengan Persamaan 23. Hasil dari perhitungan dari metode RMSE itu didapatkan hasil 1.0222, 0.1491. Dari nilai ini dapat dianalisa bahwa pengaturan SMC mempunyai performa lebih baik dari PID.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (23)$$

Ketika diuji menggunakan *trajectory*, pengaturan PID nampak adanya keterlambatan antara sinyal *input* dan sinyal *output* dari sistem, dan ketika diberi gangguan dengan sinyal *pulse* pengaturan ini menjadi tidak stabil. Sedangkan pengaturan yang berbasis SMC tetap mengikuti trajectory dengan stabil.

1.1. Hasil Pengujian pengendali SMC dan pengendali ASMC

Pengujian ini menggunakan *time sampling* 55 miliseconds. Sistem akan diuji menggunakan *trajectory* dan juga akan diuji dengan diberikan gangguan berupa sinyal *pulse*. Penentuan besarnya gangguan ini didasarkan pada pemberian gangguan yang tidak boleh lebih dari 40% dari sinyal *input*. Pada pengujian pengendali SMC dan ASMC pada sistem didapatkan grafik respon sistem ketika diberikan sinyal *trajectory* menghasilkan grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 7.



Gambar 7 Grafik trajectory dan tracking error pengaturan PID dan SMC dengan gangguan

Data *tracking error* digunakan untuk menentukan nilai dari rmse dari sistem dengan Persamaan 23. Dan didapatkan hasil: 0.1099. Pada saat kedua sistem diuji menggunakan gangguan dapat dilihat bahwa pengaturan ASMC dapat kembali mengikuti *trajectory* lebih cepat dari pada pengaturan SMC. Penambahan pengaturan adaptif mengakibatkan parameter dari pengaturan dapat menyesuaikan diri dari perubahan sinyal *input* dan gangguan dari luar sistem.

4. Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian terhadap sistem pengaturan SMC. pada sistem elektro-hidrolik, terdapat hal-hal yang perlu disimpulkan, yaitu:

1. Pemodelan sistem elektro-hidrolik menggunakan ARX331 mempunyai persentase akurasi pemodelan mencapai 94.65%
2. Pengaturan ASMC dapat menyesuaikan diri terhadap perubahan parameter sistem, sehingga *output* sistem elektro-hidrolik tetap stabil ketika ada gangguan dari luar sistem.
3. Pengaturan ASMC memiliki nilai RMSE sebesar 0.1099, sehingga menghasilkan performa lebih baik dibanding pengaturan PID dan SMC untuk sistem elektro-hidrolik.

Daftar Notasi

A_0	: Sistem dinamis tak linier	S	: Sliding surface
B_0	: Penguatan pengaturan input	\dot{S}	: Turunan sliding surface
\hat{B}	: Penguatan pengaturan input hasil estimasi	u	: Sinyal input servo valve (V)
B_{max}	: Nilai maksimal dari penguatan pengaturan	V	: Fungsi Lyapunov
B_{min}	: Nilai minimal dari penguatan pengaturan	x	: Output sistem
D	: Nilai maksimal dari gangguan luar	x_d	: Sinyal referensi
d	: Gangguan luar dari sistem	x_1	: Perpindahan posisi piston (m)
E	: Nilai kesalahan dari sistem	x_2	: Kecepatan piston (m/s)
e	: Error trajectory	x_3	: Percepatan piston (m/s ²)
K	: Discontinuous gain	η	: Eta
K_p	: Koefisien proporsional pengaturan PID	λ	: Lambda dari sliding surface
K_i	: Koefisien integral pengaturan PID	L_1	: Lambda 1
K_d	: Koefisien derivative pengaturan PID	L_2	: Lambda 2
N	: Banyaknya data	ϕ	: Ketebalan dari Boundary layer
Q	: Discontinuous switching gain	β	: Nilai efektif dari bulk modulus (Pa)

Referensi

- [1] Zulfatman, Rahmat, 2009, "Application Of Self-Tuning Fuzzy PID Controller On Industrial Hydraulic Actuator Using Sistem Identification Approach", Int. Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, Vol. 2(2):246-261.
- [2] L. Ljung "System Identification Toolbox: User Guide", Prentice-Hall Int., London, 2014.
- [3] Andersson L, et al. "A Manual for System Identification" Lund University Andersson L, et al. "A Manual for System Identification" Lund University, 2004.
- [4] Zulfatman, et al. "Robust Position Tracking Control of an Electro-Hydraulic Actuator in the Presence of Friction and Internal Leakage", Arabian Journal for Science and Engineering 39 (4), 2965-2978, 2014.
- [5] R Ghazali, et al. "Adaptive Discrete Sliding Mode Control for a Non-minimum Phase Electro-Hydraulic Actuator System", The 8th International Conference on Robotic, Vision, Signal Processing & Power Applications, 2014
- [6] Indrawanto, T.X. Bo, 2011. "Sliding Mode Control of a Single Rigid Hydraulically Actuated Manipulator". International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS, 2011.
- [7] Rahmat, et al. "Modeling and Controller Design of an Industrial Hydraulic Actuator System in The Presence of Friction and Internal Leakage" International Journal of the Physical Sciences Vol. 6(14), pp. 3502-3517, 2011.

- [8] Zulfatman, et al. "Robust Precision Control for a Class of Electro-Hydraulic Actuator System Based on Distrubance Observer"International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 2015.
- [9] Zulfatman, et al. "Sliding Mode Control with Switching-Gain Adaption Based-Distrubance Observer Applied to an Elecro-Hydraulic Actuator System" Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2013.
- [10] Cerman O, Husek P. "Adaptive Fuzzy Sliding Mode Control for Electro-Hydraulic Servo Mechanism" Expert Systems with Applications 39 10269–10277, 2012.

PEMODELAN TAK-LINEAR DAN SISTEM PENGATURAN ADAPTIF UNTUK SISTEM HIDROLIK

ORIGINALITY REPORT

6%

SIMILARITY INDEX

6%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

3%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

eprints.umm.ac.id

Internet Source

3%

2

research-report.umm.ac.id

Internet Source

3%

Exclude quotes On

Exclude bibliography On

Exclude matches < 2%